

理科の目標と教育課程の理解を図る「理科教育法」の実践的研究

内田 隆¹

1. はじめに

理科の授業を行うには、理科で学習する自然科学の基礎的な知識や法則について発展的な内容を含め理解するだけでなく、理科の目標や学習内容とその構成などの全体構造も理解する必要がある。それは、当該授業が理科の教育課程のどこに位置付けられているのか意識したうえで、単元の指導計画を立て授業設計を行わなければならないからである。そこで本稿では、中学・高校の理科教師を志す教職課程の学生の「理科教育法」の授業において、理科の目標と教育課程の理解を図るために開発した授業の概要及び実施結果について報告する。

2. 「理科教育法」受講生の高校理科の履修状況と課題

2016年度の大学3年生は、小学校・中学校・高等学校を旧学習指導要領下で学んでいるため、理科の学習内容及び授業時間数が現行の学習指導要領と比較して大幅に少ない。また、旧学習指導要領下では、高校で履修すべき理科の科目は「理科総合 A」「理科総合 B」「理科基礎」「物理 I」「化学 I」「生物 I」「地学 I」のうちから2科目（「理科総合 A」「理科総合 B」「理科基礎」のうちから1科目以上含む）（文部省，1999）となっているため、「物理」「化学」「生物」「地学」の4領域のうちの2領域しか学習していない学生も存在する。

生命科学部の2016年度「理科教育法」の受講生（大学3年生）は、高校時代に必修科目以外の選択科目として理科や数学を選択する、いわゆる理系クラスに所属していた学生がほとんどであるため、物化生地の4領域のうちの2領域しか履修していない学生はいない。しかし、以下の表1に示すように、化学や生物は多くの学生が履修しているものの、物理は半分以下の学生しか履修しておらず、地学は一人の学生も履修していない。「理科総合 A」において物理分野を、「理科総合 B」において地学分野を学習している学生もいるが、それぞれ各1単位程度の内容でしかないことから、高校時代の理科の履修状況が、理科教師を志すにあたって充分であるとは言い難い状況である。

表1 2016年度「理科教育法」受講者22名の高校理科の科目の履修状況

科目名	履修人数	科目名	履修人数	科目名	履修人数
理科基礎	0名(0%)	物理 I	10名(45%)	物理 II	4名(18%)
理科総合 A	16名(73%)	化学 I	22名(100%)	化学 II	20名(91%)
理科総合 B	6名(27%)	生物 I	20名(91%)	生物 II	16名(73%)
		地学 I	0名(0%)	地学 II	0名(0%)

¹ 東京薬科大学生命科学部教職課程研究室

したがって、大学で「物理」「化学」「生物」「地学」の基礎的な内容からの学習が必要であり、本学においても各分野の基礎的な内容から発展的な内容までを包括的に扱った「物理学」「化学」「生物学」「地学」や各分野の実験・実習が設定されている。さらに、高校で物理や生物等を履修していなかったり、履修していても苦手意識を持っている学生のためのリメディアル科目である「初等化学」「初等生物学」「初等物理学」も設定されている。そのうえで、それぞれの発展的な内容を扱う「物理化学」「無機化学」「有機化学」「生命物理学」「微生物学」などの多様な専門科目が配置されていることから、中学校・高校の理科で扱う自然科学の理論や法則等について、基礎的な内容から発展的な内容まで、また理論的な内容から実験・実習を含むものまで、様々な内容を多様な方法で学習する機会が十分に設けられているといっていよう。

その一方で、理科の目標や教育課程について理解を深めるには「教科に関する科目」の学習だけでは充分とはいえない。理科の目標や具体的な学習内容と範囲およびその構成は学習指導要領解説理科編に詳しく解説されているが、これを読むだけで、学生が具体的に学習内容とその関係性を思い描くことは難しい。そこで「理科教育法」において、理科の目標や教育課程の理解を深めるための授業を開発し実施した。その際、教師による一方的な解説ではなく、学生主体の学習活動を通して当事者意識を醸成させるように、また、対話による協働的な学習活動を通して学生の考えを言語化・構造化させることで知識の定着が図れるように配慮し、授業を設計した。

3. 理科の学習内容の構成図の作成

現行の小・中・高校の学習指導要領の理科では、科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」を柱として、小・中・高校を通じた理科の内容の構造化が図られた。学習指導要領解説理科編には、小・中・高校を通して理科で学習する全単元が「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」の柱ごとに構成図で示されている。

教師は、当該授業の学習内容が、小・中学校のどの学年のどの学習内容を踏まえているのか、また、今後どの学年のどの学習内容に関係するのか、これまで以上に前後の学習内容との関係性を意識した授業が求められている。経験豊富な教師であれば、以下の図1の構成図の各単元について、具体的な学習内容や前後の単元との関係性を思い描くことは容易であろう。しかし、複数の学年を年間通して指導した経験のない学生には、例えば小5「物の溶け方」・小6「水溶液の性質」・中1「水溶液」の水溶液に関連する学習や、小3「電気の通り道」・小4「電気の働き」・小5「電流の働き」・小6「電気の利用」の電気に関連する学習について、図1の構成図だけで、各校種・学年での学習内容の差異や範囲、また単元間の関係性について系統立てて考えるのは難しい。また、図1の構成図では「粒子」を柱とした内容は「粒子の存在」「粒子の結合」「粒子の保存性」「粒子の持つエネルギー」の4項目で構成されているが、例えば、小6「燃焼の仕組み」と、この4項目との関係性を判断するのは容易ではなく、図1の構成図を参照して「燃焼の仕組み」が「粒子の存在」と「粒子の結合」に位置付けられていることがわかっていても、なぜ燃焼が「粒子の存在」や「粒子の結合」と関係するのかは直感的には掴みにくい。

理科の学習内容とその構成について理解するためには、一つひとつの学習内容について時間をかけてその関係性を検討し、学習内容どうしを結びつける作業を通して、学習内容間の関係性や系統

校 種	学 年	エネルギー			粒 子			
		エネルギーの見方	エネルギーの変換と保存	エネルギー資源の有効利用	粒子の存在	粒子の結合	粒子の保存性	粒子のもつエネルギー
小 学 校	第3学年	風やゴムの動き ・風の動き ・ゴムの動き	光の性質 ・光の反射・屈折 ・光の当て方と明るさや暗さ	磁石の性質 ・磁石に引きつけられる物 ・異極と同極	電気の通り道 ・電気を通すつなぎ方 ・電気を通す物		物と重さ ・重と重さ ・性質と重さ	
	第4学年		電気の働き ・乾電池の数とつながり方 ・光電池の働き		空気と水の性質 ・空気の圧縮 ・水の圧縮			金属、水、空気と温度 ・温度と体積の変化 ・通まり方の違い ・水の三態変化
	第5学年	振り子の運動 ・振り子の運動☆	電流の働き ・鉄心の磁化、電流の変化（小5から移行） ・電磁石の働き（小5から移行）				物の溶け方 ・物が水に溶ける量の限度 ・物が水に溶ける量の変化 ・重さの保存	
	第6学年	てこの規則性 ・てこのつり合いと重さ（小5から移行） ・てこのつり合いの規則性（小5から移行） ・てこの利用（身の回りにおけるてこの利用した道具）	電気の利用 ・発電・蓄電 ・電気の家庭（光、音、熱などへの家庭） ・電気による発熱 ・電気の利用（身の回りにある電気を利用した道具）		燃焼の仕組み ・燃焼の仕組み	水溶液の性質 ・酸性、アルカリ性、中性 ・気体が溶けている水溶液 ・金属を変化させる水溶液		
	第1学年	力と圧力 ・力の働き（力とばねの伸び、重さと質量の違いを含む） ・圧力（水圧を含む）	光と音 ・光の反射・屈折 ・凸レンズの働き ・音の性質		物質のすがた ・身の回りの物質とその性質（プラスチックを含む） ・気体の発生と性質		水溶液 ・物質の溶解 ・溶解度と再結晶	状態変化 ・状態変化と熱 ・物質の融点と沸点
	第2学年	電流 ・回路と電流・電圧 ・電流・電圧と抵抗 ・電流とそのエネルギー（電力量、熱量を含む） ・静電気と電流（電子を含む） 電流と磁界 ・電流がつくる磁界 ・磁界中の電流が受ける力 ・電磁誘導と発電（交流を含む）			物質の成り立ち ・物質の分類 ・原子・分子	化学変化 ・化合 ・酸化と還元（中3から移行） ・化学変化と熱（中3から移行） 化学変化と物質の質量 ・化学変化と質量の保存 ・質量変化の規則性		
中 学 校	第3学年	運動の規則性 ・力のつり合い（中1から移行） （力の合成・分解を含む） ・運動の速さと向き ・力と運動 力学的エネルギー ・位置エネルギー （実例（小5から移行） ・仕事率を含む） ・力学的エネルギーの保存	エネルギー ・様々なエネルギーとその変換（熱の伝わり方、エネルギー変換の効率を含む） ・エネルギー資源（放射能を含む） 科学技術の発展 ・科学技術の発展☆ 自然環境の保全と科学技術の利用 ・自然環境の保全と科学技術の利用 ＜第2分野と共通＞		水溶液とイオン ・水溶液の電気伝導性 ・原子の成り立ちとイオン ・化学変化と電流	酸・アルカリとイオン ・酸・アルカリ（中1から移行） ・中和と塩（中1から移行）		

図1 小・中・高校理科の「エネルギー」「粒子」を柱とした内容の構成図（文部科学省，2009）

性を検討する経験が有効であると考え、「理科教育法」の「小学校から高等学校の学習内容の整理」「中等教育の学習内容と学習指導」において、学習指導要領解説理科編と小・中・高校の理科の教科書を資料に、図1のような学習内容の構成図を学生間の協働作業で作成する授業を開発し実施した。以下の表2に、学習内容の構成図の作成の概要を示す。

表2 小・中・高校の理科の学習内容の構成図の作成の概要

- ① 学習指導要領解説理科編を資料に、「光と音」「力と圧力」といった理科の各単元を抜き出して付箋紙に記入する（4～5名程度の班で作業を行う）。
 - ② 縦の欄に学年が配置されている表に、各単元が書かれた付箋紙を貼りながら、各単元をそれぞれの校種のどの学年で学習するのか把握する。
 - ③ 教科書を参照して各単元の学習内容の詳細を確認しながら、関係性のある学習内容が上下に並ぶように付箋紙を配置しなおす。
 - ④ 関係性の高い単元どうしを線で結び、その単元どうしが配置された項目に名称を付ける。
- ※ 学習指導要領解説に示されている構成図とは分類や項目名等が異なってもかまわないこととした。

「地球」を柱とする学習内容の構成図を作成させたところ、天体（月、太陽、惑星、恒星）、地球（大地、気象）など、現象及び現象が起こる場所を柱にした構成図になった。この現象や場所によ

る学習内容の構成は、学習指導要領解説理科編の「地球の内部」「地球の表面」「地球の周辺」による構成とほぼ同様で、学生が作成した構成図は、学習指導要領解説理科編の構成図とほぼ同じ図になった。以下の図2に、学生が作成した「地球」を柱とする学習内容の構成図の例を示す。

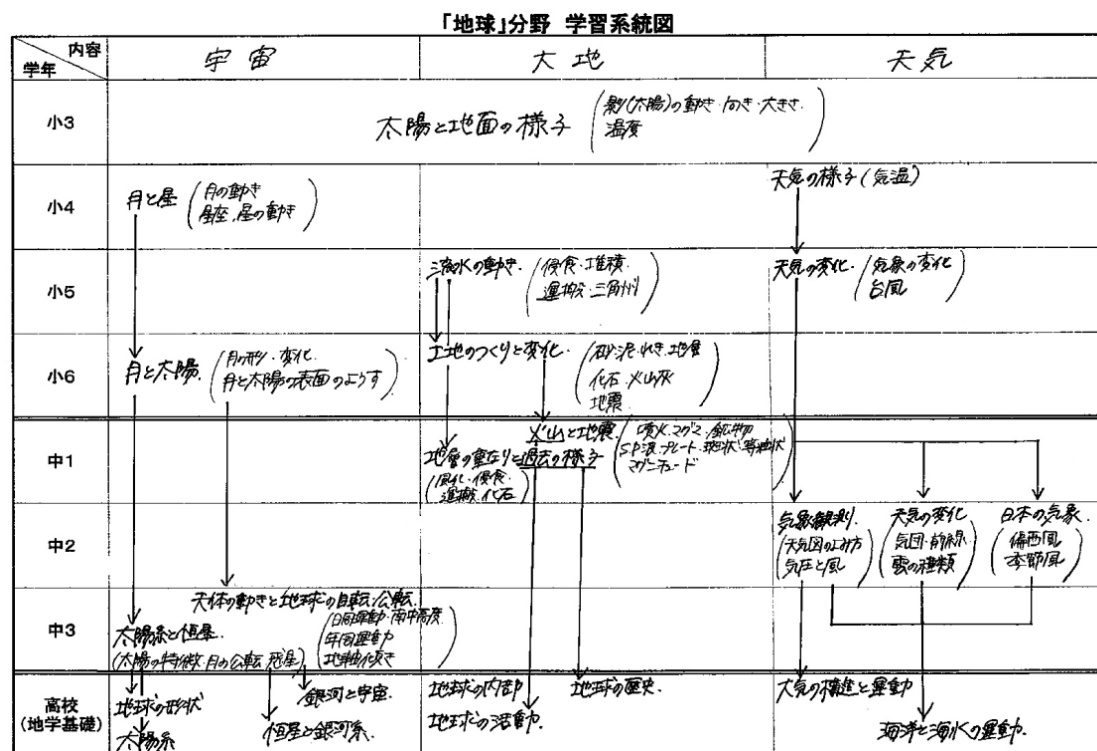


図2 学生が作成した小・中・高校理科の「地球」を柱とする学習内容の構成図

理科の目標と教育課程を理解するための授業として、学習内容の構成図を学生の主体的で対話的な学習活動を通して行う授業を開発して実施することができた。学習指導要領解説理科編や教科書を調査し、理科の学習内容の構成やその系統性を見だし、各単元について前後の単元との関係性を含めて適確に配置された学習内容の構成図を作成することができており、理科の学習内容と構成についての理解は深まったと考えられる。

一方、学生が作成した「粒子」を柱とする学習内容の構成図は「燃焼と酸化還元」「水溶液」「空気」「プラスチック」「金属」「状態変化」「化学変化」「物質の性質」のように多様な項目を柱にしたものや、「化学変化」「状態変化」「物質の性質」の3つを柱にしたもので、学習指導要領解説理科編に示されている「粒子の存在」「粒子の結合」「粒子の保存性」「粒子の持つエネルギー」の4項目による構成とは異なる構成図になった。また、「生命」を柱とする構成図も同様に「植物」「動物」「生態系・環境」などの項目を柱とする構成図が多く、学習指導要領解説理科編に示されている「生命の連続性」や「生命の多様性と共通性」の観点から項目立てをした構成図を作成した班は1班だけであった。以下の図3に、学生が作成した「生命」を柱とする学習内容の構成図を示す。

学生主体の協働作業で作成した構成図は、いずれも各学習内容の表面的な共通点を見いだして構成されたもので、学生だけで「粒子」や「生命」を柱に「粒子の保存性」や「生命の多様性と共通性」といった観点を見いだすのは難しかった。学生主体で学習内容の構成図を作成するだけでは、

前後の学習内容を意識した単元観を持ちにくく、先を見通した適確な指導計画を作成し到達目標を示すことが難しいことが明らかになった。教師側からの課題設定や支援方法¹⁾の再検討や、「粒子の保存性」「生命の多様性と共通性」などの一つの項目だけに着目させて時間をかけて関係性を検討する取り組み等も必要であると考えられる。

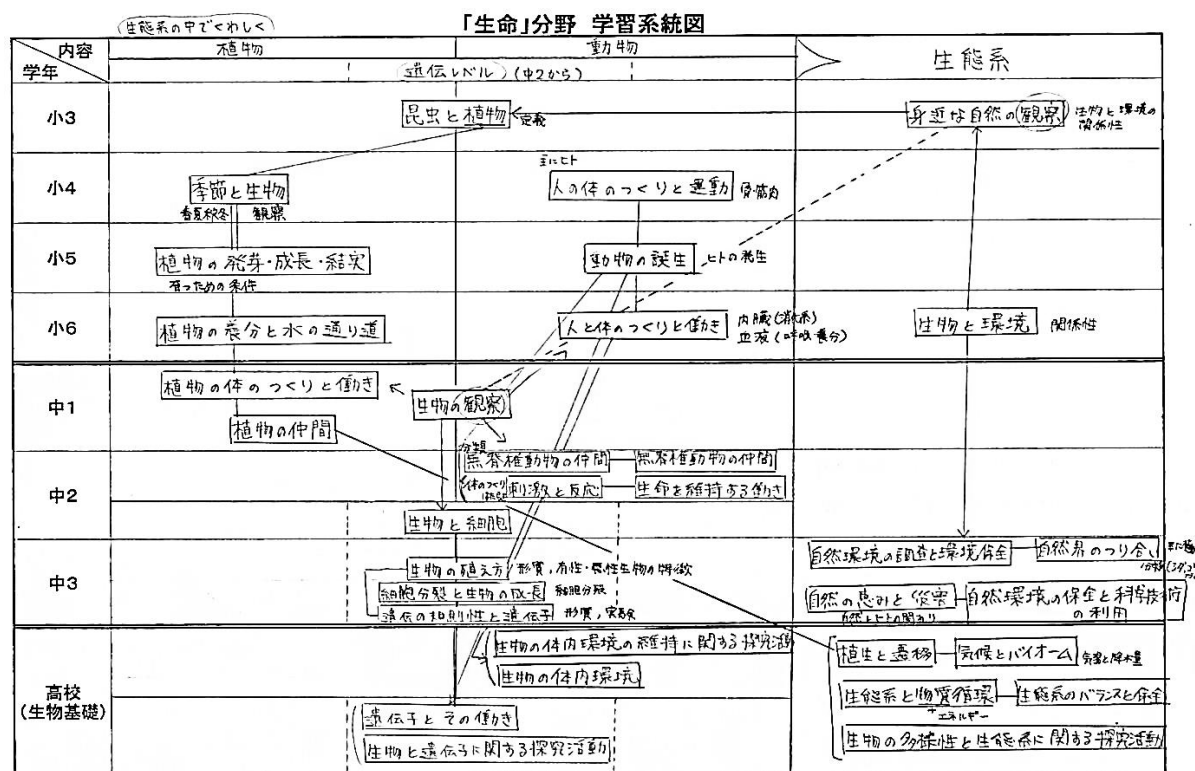


図3 学生が作成した小・中・高校理科の「生命」を柱とする学習内容の構成図

4. 理科の教科書の単元構成と展開の比較・検討

授業計画を立てるにあたっては、目標や学習内容と範囲や既習事項との関係性を意識しながら教材を配列することが必要になるが、年間を通して授業を行った経験のない学生には、単元全体を見通した授業計画を立てるのは難しい。そこで、「理科教育法」の「学習指導要領と教科書制度及び教科書内容構成の比較検討」の授業において、使用教材や教材の配列順序が異なる各社の教科書について、その単元構成と展開を比較検討する作業を行い、その作業を通して単元構成力の基礎を養う授業を開発し実施した。以下の表3に、教科書の単元構成と展開の比較検討の授業の概要を示す。

表3 教科書の単元構成と展開の比較検討の授業の概要

- ① 3～4人の班を構成し、中学理科または高校の物理・化学・生物の中から比較検討を行う科目を選択する。
- ② 詳しく比較・検討する単元を一つ選び、教材や教具、教材の配列順序や展開の仕方、文章表現、設定されている課題や練習問題等について、各自で各社の教科書を比較し検討する。
- ③ 各自が検討した結果を班内で発表して共有し、その後、最も適切であると考えられる教科書²⁾を、班内で検討して選択する。
- ④ 班毎に選択した教科書について、教材の配列順序を中心に特徴と選択理由を全体に報告し共有する。
- ⑤ 各自で教科書の選択理由を、採択理由書にしてまとめる。

はじめに、中 1「植物の体のつくりと働き」において「葉」「茎」「根」の順で学習する教科書と「根」「茎」「葉」の順で学習する教科書があるなど、教材の配列が教科書会社によって異なることなどを説明してから、学生に教科書の比較検討を行わせた。

教科書の比較検討にあたっては、学習内容全般ではなく一つの学習事項に絞って行わせたところ、教材配列や単元構成の違いへの気付きをもとに、学生主体で議論を進めることができていた。この授業の実施時点では、まだ学生による模擬授業等を実施していなかったため、学生間の議論は過去の学習経験が大きく影響し、「わかりやすかった」等の学習者側の視点からの意見が多く、教師側の視点からの意見は少なかった。しかし、安易に教師側の視点に傾倒し「教えやすい」「説明しやすい」「展開しやすい」方を選択することがなかったという点では良かったと思われる。また、学生間で各自の経験を出し合って話すことで、多様な教授方法があることを知るだけでなく、学生間で感じ方が異なることも可視化され、教科書の単元構成や展開の比較を通して、授業の進め方について多面的な評価も行うことができていた。

班毎に行った教科書の比較・検討・選択作業及び全体への報告共有の後に、各学生に最も適当だと考えた教科書の選択理由を採択理由書としてまとめさせた。以下の表 4 に学生が記述した採択理由書の一部を示す。

表 4 学生が記述した採択理由書（一部抜粋）

①中和を学ぶ流れが、中和の定義→塩→量的関係→滴定の実験となっており、定義→量的関係→塩→滴定の実験のように量的関係と中和滴定が離れている教科書よりもわかりやすい
②生物の誕生・進化の単元を学んでいく中で、他社は「命名法」「魚類の進化」「系統樹」と一つ一つのワードを説明していくのに対し、選んだ教科書は“地球の誕生と進化”という大きな道すじの中で、それらのワードが登場し説明されている
③他の教科書は練習問題が単元の最後にまとめてあるのに対して、選んだ教科書は項目ごとに学習したらすぐ問題を解ける構成になっており、形成的評価がしやすい

①では、酸・塩基の単元において、中和滴定の実験をまとめとして位置付けたうえで、酸・塩基の定義、量的関係、中和反応、塩の性質、pH 等の各学習内容を、どのように配列して指導計画を立てるか単元全体を見通して考察している。②では、生物の誕生・進化の単元における各授業について、それぞれの学習内容を関連付けた授業展開の必要性に触れており、各学習内容のつながりを意識した指導計画の重要性に言及している。いずれも、各教科書の比較・検討作業を通して、単元全体を俯瞰した学習内容の配列の検討や、各学習内容の関係性を意識した授業の展開の検討ができており、この教科書の比較・検討作業が学生に単元全体を俯瞰的な視点から考察し、指導計画を検討させるのに一定の効果があることが示唆された。また、③では、教材配列や授業展開の視点ではなく、評価の観点からも教科書を比較・検討している。これは、以前の「理科教育法」で行った評価について講義内容を教科書の比較・検討の授業に応用したもので、指導計画を立てるうえで過去の学習内容である評価についても考慮している。

教科書の単元構成や展開について班内で比較検討する段階では、教材の選択や配列について真摯に議論が行われており、理科の教育課程と学習内容の理解を深め、指導計画を構成する力の基礎を

5. 単元の導入時の模擬授業

表5 中学校理科の学年毎の学習内容（文部科学省，2008）

授業を担当する学生は、単元の導入授業を行うにあたって、単元の学習内容を網羅的に把握するだけでなく、前段階での学習内容も理解しておかなければならない。さらに、短時間で授業が行えるように適確にまとめ、構成に配慮した授業づくりが求められる。授業を受ける学生は、学生によ

る中学校理科の全 14 単元の導入授業によって、10 分程度で各単元の要約や前後のつながりを含む中学理科の全学習内容の概略の講義を受けることができる。

学生が行った単元の導入授業は、概略を説明するだけでなく、既習事項の確認を発問形式で進めたり、小テストを実施するなどの工夫が凝らされており、中学校理科の学習内容の構成を再確認するための授業としてだけでなく、学生の授業経験不足を補完し指導力の向上に向けた模擬授業の一環としても有効であった。中学校理科の目標や学習内容及び全体構造について理解するために開発した本授業には一定の効果があると考えられる。

6. さいごに

理科の目標と理科の学習内容及びその構成の理解を図るために、「理科教育法」の授業において、理科の学習内容の構成図の作成、各教科書の単元構成の比較検討、学生による単元の導入の模擬授業の 3 つの授業を開発し実施した。それぞれ、学生の主体的で対話的な協働作業を通して理科の目標と教育課程について理解を深める授業として一定の効果があり、指導計画を立てる単元構成力の向上や授業経験不足の補完にも有効な授業を開発することができた。一方で、学習内容の構成図を作成する授業においては「粒子」「生命」を柱とする単元構成の理解のための教師からの支援の工夫、また、教科書の単元構成の比較の授業においては、デザインによる安易な選択にならないための課題設定の工夫の必要性等の課題も明らかになった。明らかになった課題を改善し、理科の目標と教育課程について理解を深める授業を再検討し実践を継続していきたい。

また、2017 年 3 月に 2021 年施行予定の中学校学習指導要領が告示された。「理科教育法」の受講生が教壇に立って数年後には次期学習指導要領に則った授業が行われる。理科の学習内容及び構成に大きな変更はないが、次期学習指導要領の学習内容を勘案した授業も検討していきたい。

注

- 1) 例えば、化学変化の縦の欄の関係性について、小 6「水溶液の性質における酸性アルカリ性」、中 3「酸・アルカリとイオン」、高校化学基礎「化学変化の酸・塩基と中和」を例に挙げ、反復して学習するカリキュラム構成についての解説を加えた。
- 2) 中学校理科教科書 5 種（大日本図書、教育出版、学校図書、東京書籍、啓林館）、高等学校の化学基礎、生物基礎、物理基礎、化学、生物の教科書それぞれについて 5 種（啓林館、数研出版、第一学習社、東京書籍、実教出版）を比較検討の対象とした。
- 3) 単元の導入授業は麻布大学福井智紀講師の実践を参考にした。

参考文献

文部省（1999）「高等学校学習指導要領」、国立印刷局

文部科学省（2008）「中学校学習指導要領」、東山書房

文部科学省（2009）「高等学校学習指導要領解説理科編理数編」、実教出版